

F.F.Rustamova

E-mail: rfarangiz810@gmail.com

H.K.Qurbonnazarova

E-mail: qurbonnazarovahusniya@gmail.com

Ilmiy rahbar: J.M.Suyunov

Termiz davlat universiteti

Annotatsiya: Mazkur maqolada superkondensatorlarning (ultrakondensatorlarning) tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy materiallari hamda energiya saqlash tizimlaridagi o'rni tahlil qilingan. Superkondensatorlar an'anaviy kondensatorlar va batareyalar o'rtasidagi oraliq energiya saqlash qurilmasi bo'lib, yuqori quvvat zichligi, tez zaryadlanish va uzoq sikl umriga ega. Maqolada elektrod materiallari sifatida faollashtirilgan uglerod, grafen, uglerod nanotubalar, metall oksidlar va o'tkazuvchi polimerlarning qo'llanilishi yoritilgan. Shuningdek, elektr ikki qatlamli kondensatorlar (EDLC) va psevdokondensatorlar ishlash mexanizmlari, ularning energiya zichligi, quvvat zichligi hamda sanoat va transport sohalaridagi qo'llanilish istiqbollari ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: superkondensatorlar, ultrakondensatorlar, energiya saqlash, grafen, uglerod nanotubalar, EDLC, psevdokondensator, elektrod materiallari, quvvat zichligi.

Abstract: This article reviews the structure, operating principles, key materials, and applications of supercapacitors (ultracapacitors) in modern energy storage systems. Supercapacitors are intermediate energy storage devices between conventional capacitors and batteries, characterized by high power density, fast charging, and long cycle life. The paper discusses electrode materials such as activated carbon, graphene, carbon nanotubes, metal oxides, and conducting polymers. It also analyzes the working mechanisms of electric double-layer capacitors (EDLCs) and pseudocapacitors, as well as their energy and power densities and applications in industry and transportation.

Keywords: supercapacitors, ultracapacitors, energy storage, graphene, carbon nanotubes, EDLC, pseudocapacitors, electrode materials, power density.

Аннотация: В данной статье рассмотрены структура, принципы работы, основные материалы и применение суперконденсаторов (ультраконденсаторов) в современных системах накопления энергии. Суперконденсаторы представляют собой промежуточные устройства между обычными конденсаторами и аккумуляторами, обладающие высокой удельной мощностью, быстрым зарядом

и длительным сроком службы. В статье рассмотрены такие материалы электродов, как активированный уголь, графен, углеродные нанотрубки, оксиды металлов и проводящие полимеры. Также анализируются механизмы работы электрических двойных слоев (EDLC) и псевдоконденсаторов, их энергетическая и мощностная плотность, а также перспективы применения в промышленности и транспорте.

Ключевые слова: суперконденсаторы, ультраконденсаторы, накопление энергии, графен, углеродные нанотрубки, электрический двойной слой (EDLC), псевдоконденсаторы, материалы электродов, плотность мощности.

Kirish: So‘nggi yillarda energiya saqlash texnologiyalariga bo‘lgan talabning keskin ortishi zamonaviy elektrotexnika va materialshunoslikning eng dolzarb yo‘nalishlaridan biriga aylangan. Ayniqsa, tez zaryadlanish, yuqori quvvat zichligi va uzoq xizmat muddatiga ega energiya saqlash qurilmalarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan superkondensatorlar (ultrakondensatorlar) batareyalar va an’anaviy kondensatorlar o‘rtasidagi oraliq energiya saqlash tizimi sifatida katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg‘otmoqda. Superkondensatorlar yuqori quvvat zichligi va juda tez zaryad razryad jarayoni bilan ajralib turadi. Ular kimyoviy reaksiyalarga emas, balki elektrod yuzasida ionlarning adsorbsiya/desorbsiya jarayonlariga asoslangan holda energiya to‘playdi. Shu sababli ular millionlab sikllargacha bardosh bera olishi va yuqori ishonchlilikka ega bo‘lishi bilan an’anaviy akkumulyatorlardan ustun turadi.

Materiallar va usullar: Mazkur tadqiqot superkondensatorlar (ultrakondensatorlar) sohasidagi zamonaviy ilmiy yutuqlarni o‘rganishga asoslangan bo‘lib, xalqaro ilmiy jurnallar, monografiyalar hamda Scopus va Web of Science bazalarida indekslangan maqolalar tahlili orqali amalga oshirildi. Tadqiqot davomida energiya saqlash qurilmalari, elektrokimyo, nanomateriallar va elektrod materiallariga oid ilmiy manbalar tizimli ravishda o‘rganildi. Tadqiqot metodologiyasi sifatida adabiyotlarni tahlil qilish (literature review), qiyosiy tahlil (comparative analysis), tizimlashtirish (systematic analysis) va umumlashtirish (generalization) usullaridan foydalanildi. Ilmiy manbalarda keltirilgan ma’lumotlar asosida superkondensatorlarning elektr, kimyoviy va fizik xossalari, energiya va quvvat zichligi hamda ishlash samaradorligi qiyosiy baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida elektr ikki qatlamli kondensatorlar (EDLC) va psevdokondensatorlar tanlandi. EDLC tizimlarida energiya saqlanishi elektrod yuzasida ionlarning elektrostatik adsorbsiyasiga asoslangan bo‘lsa, psevdokondensatorlarda tezkor qaytariluvchi redoks reaksiyalari muhim rol o‘ynaydi. Ushbu mexanizmlar ilmiy adabiyotlar asosida batafsil tahlil qilindi. Elektrod materiallari sifatida faollashtirilgan uglerod, grafen,

uglerod nanotubalari (CNT), metall oksidlar (MnO_2 , RuO_2) hamda o'tkazuvchi polimerlar (polianilin, polipirol) o'rganildi. Ularning sirt maydoni, elektr o'tkazuvchanligi, ion diffuziyasi va barqarorligi superkondensatorlarning umumiy ishlash samaradorligiga ta'siri qiyosiy ravishda tahlil qilindi. Hozirgi kunda superkondensatorlarning samaradorligi asosan elektrod materiallariga bog'liq bo'lib, faollashtirilgan uglerod, grafen, uglerod nanotubalar, metall oksidlar va o'tkazuvchi polimerlar eng ko'p o'rganilayotgan materiallar hisoblanadi. Ushbu materiallar katta sirt maydoni, yuqori elektr o'tkazuvchanlik va barqarorlik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Superkondensatorlar elektr transport vositalari, qayta tiklanuvchi energiya tizimlari, sanoat energetikasi, portativ elektronika va energiya tiklash tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Ularning asosiy afzalligi — juda tez energiya almashinuvi va yuqori ishonchlilik bo'lib, bu ularni kelajak energiya tizimlarining muhim komponentiga aylantiradi.

Kutilayotgan natijalar: Mazkur tadqiqot natijasida superkondensatorlarning (ultrakondensatorlarning) ishlash prinsipi, elektrod materiallari va energiya saqlash xususiyatlari bo'yicha tizimli ilmiy tahlil shakllantirilishi kutilmoqda. EDLC va psevdokondensator mexanizmlarining o'ziga xos jihatlari, ularning energiya va quvvat zichligiga ta'siri hamda amaliy samaradorligi ilmiy manbalar asosida solishtirib o'rganiladi. Tadqiqot davomida grafen, uglerod nanotubalari, faollashtirilgan uglerod, metall oksidlar va o'tkazuvchi polimerlar asosidagi elektrod materiallarining fizik-kimyoviy xossalari baholanadi. Ularning sirt maydoni, elektr o'tkazuvchanligi, ion diffuziyasi va barqarorligi superkondensatorlarning umumiy ishlash samaradorligini oshirishdagi roli aniqlanadi. Shuningdek, nanostrukturalash, kompozit materiallar yaratish va sirtni modifikatsiya qilish orqali energiya zichligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Ushbu yondashuvlar superkondensatorlarning an'anaviy energiya saqlash qurilmalariga nisbatan ustunliklarini yanada kuchaytirishi kutiladi. Tadqiqot yakunida superkondensatorlarning elektr transport, qayta tiklanuvchi energiya tizimlari va sanoat energetikasida qo'llanilish istiqbollari bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilishi kutiladi. Olingan natijalar yuqori quvvat zichligiga ega, tez zaryadlanuvchi va uzoq xizmat muddatli energiya saqlash tizimlarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

Xulosa: Superkondensatorlar zamonaviy energiya saqlash tizimlarining eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri bo'lib, ular yuqori quvvat zichligi, tez zaryadlanish va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, superkondensatorlar an'anaviy kondensatorlar va kimyoviy batareyalar o'rtasidagi oraliq texnologiya sifatida muhim o'rin egallaydi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, EDLC (elektr ikki qatlamli kondensatorlar) energiyani elektrod yuzasida ionlarning

elektrostatik yig'ilishi orqali saqlasa, psevdokondensatorlar tezkor qaytariluvchi redoks reaksiyalari orqali yuqori sig'imga erishadi. Har ikkala tizimning samaradorligi asosan elektrod materiallarining xossalari bog'liqdir. Grafen, uglerod nanotubalari, faollashtirilgan uglerod, metall oksidlar va o'tkazuvchi polimerlar superkondensatorlarning asosiy elektrod materiallari sifatida yuqori sirt maydoni, yaxshi elektr o'tkazuvchanlik va barqarorlikni ta'minlaydi. Shu bilan birga, nanokompozit materiallar va sirtni modifikatsiya qilish texnologiyalari energiya zichligini sezilarli darajada oshirish imkonini bermoqda. Biroq, superkondensatorlarning asosiy cheklovi ularning batareyalarga nisbatan past energiya zichligidir. Shu sababli kelgusida yangi materiallar yaratish, nanostrukturalash va gibrid energiya saqlash tizimlarini ishlab chiqish dolzarb bo'lib qolmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Brian E. Conway. Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications. Springer, 1999.
2. Patrice Simon, Yury Gogotsi. Materials for Electrochemical Capacitors. Nature Materials, 2008.
3. Yury Gogotsi. Nanomaterials in Supercapacitors. Accounts of Chemical Research, 2014.
4. Jean-Marie Tarascon. Is Lithium the New Gold? Supercapacitors and Beyond. Nature Chemistry, 2010.
5. Bruce Dunn, Haiping Wang. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices // Science, 2011.
6. Elzbieta Frackowiak, Francis Béguin. Carbon Materials for the Electrochemical Storage of Energy in Capacitors // Carbon, 2001.
7. Elsevier. Journal of Power Sources. – Superkondensatorlar bo'yicha ilmiy maqolalar (2020–2025).
8. Elsevier. Electrochimica Acta. – Elektrokimyoviy energiya saqlash tizimlari bo'yicha tadqiqotlar.
9. Nature Portfolio. Nature Energy. – Energiya saqlash va superkondensatorlar bo'yicha zamonaviy ilmiy ishlar.